

ОТРИМАННЯ ДІАГРАМ ОБТИСКАННЯ АВІАЦІЙНОЇ АМОРТИЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАТЧИКІВ ПОЛОЖЕННЯ У ПРОСТОРИ

П. О. Скірко^{1, а}, Н. О. Гордійко¹

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
Фізико-технічний інститут

Анотація

В роботі досліджено принципи роботи інерційної навігації та запропоновано ефективний метод обробки результатів вимірювань акселерометрів з метою отримання залежності навантаження від переміщення. Побудовано електронно-обчислювальний пристрій для здійснення вимірювань з необхідною точністю та частотою. Отримано діаграму обтискання амортизаційного шасі літака.

Ключові слова: діаграма обтискання, акселерометр, шасі, амортизаційна система

Вступ

Надійність літака передбачає його безпеку при зльоті та посадці і значною мірою залежить від якості та надійності шасі. З метою перевірки функціонування всіх механізмів і систем літака проводяться випробування на експлуатаційну надійність: спочатку на спеціальних стендах, а потім – на літаку. В процесі цих випробувань відповідні механізми, якщо виникає необхідність, допрацьовуються. [1]

Діаграмою обтискання амортизаційної системи називають графік залежності сили тиску від відстані, на яку змінилась його довжина, при прикладенні навантаження. Зазвичай, практичний інтерес представляє діаграма обтискання, отримана за умов, наближених до реального застосування, тобто під час удару шасі об землю. Вона дозволяє якісно оцінити характер його роботи та кількісно визначити, яке найбільше навантаження прикладається до кабіни літака. Інтеграл від цієї кривої відображає кількість поглинутої під час удару енергії. Можливість під час розробки нового шасі проводити подібні випробування значно покращує ефективність роботи, тому вони широко застосовуються на практиці, як показано в [2], [3]. Доцільність проведення випробувань також обумовлена тим, що вони є необхідною умовою отримання міжнародної сертифікації амортизаційних систем для використання в авіації [4]. Широкозастосовані системи тестування шасі використовують безпосередні вимірювання лінійного переміщення та навантаження [3]. Такий підхід є максимально точним, але дорогим і громіздким. Отже, виникає необхідність у створенні дешевшої та простішої у застосуванні системи тестування шасі.

1. Застосування системи інерційної навігації

Випробувальний стенд (рис. 1) представляє собою амортизаційне шасі, закріплене на паралелограмному механізмі. На ньому у двох точках закріплюються два сенсори (1, 2).

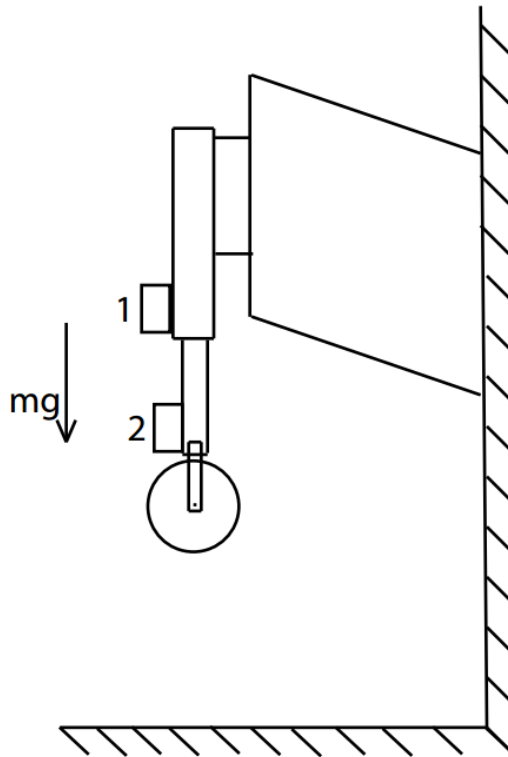


Рис. 1. Схема випробувального стенду

В роботі використані шестиосьові MEMS сенсори InvenSense ICM-20602, що включають в себе триосьовий акселерометр та триосьовий гіроскоп. Їх докладні характеристики наведені у [5]. Компактні

^аpavel.skirko@gmail.com

розміри сенсорів (3x3x0.75мм) дозволяють встановлювати їх на рухомих досліджуваних об'єктах, не впливаючи на характер руху останніх.

Вимірювання здійснюються з частотою 4kHz, що за середньої тривалості експерименту 0.5с дозволяє отримати достатньо точок для побудови характеристичної кривої. Отримані дані включають для кожного моменту часу два вектори прискорення $(a_x, a_y, a_z)_1, (a_x, a_y, a_z)_2$ та два вектори кутової швидкості $(w_x, w_y, w_z)_1, (w_x, w_y, w_z)_2$

На початку експерименту шасі з масовим навантаженням підвішене на фіксованій висоті. Потім воно відпускається у вільне падіння, причому паралелограмний механізм дозволяє йому рухатись тільки уздовж однієї осі. Після удару об землю набута кінетична енергія поглинається амортизаційною системою.

2. Вимірювання переміщення

Розглянемо окремо рух шасі під час вільного падіння і після удару:

- На етапі вільного падіння рух сенсорів один відносно одного нехтовно малий. Отже, можна простим інтегруванням отримати швидкості відносно землі у момент перед ударом, причому доцільно їх усереднити. Для дискретних вимірювань, інтегрування переходить у суму:

$$V_j = \int a_j dt = \sum_{i=0}^N \left(\frac{(a_j)_i + (a_j)_{i+1}}{2} \Delta t_i \right) \quad (1)$$

де $j = x, y, z$ — координатні осі, N — кількість вимірювань.

- Після удару швидкості і напрямки руху сенсорів перестають співпадати. Обраховується швидкість кожного сенсора у кожний момент часу за формулою (1), повторним інтегруванням отримується переміщення:

$$r_j = \int V_j dt = \sum_{i=0}^N \left(\frac{(V_j)_i + (V_j)_{i+1}}{2} \Delta t_i \right) \quad (2)$$

де N — кількість вимірювань до моменту часу t_i .

Різниця довжин векторів переміщення r_1 і r_2 першого і другого сенсора дорівнює ходу штоку амортизатора:

$$\Delta r(t_i) = \left(\sqrt{r_x^2(t_i) + r_y^2(t_i) + r_z^2(t_i)} \right)_1 - \left(\sqrt{r_x^2(t_i) + r_y^2(t_i) + r_z^2(t_i)} \right)_2 \quad (3)$$

де t_i — час, що відповідає окремому вимірюванню.

Таким чином, отримано залежність переміщення штоку від часу.

3. Вимірювання навантаження

Безпосереднє використання вимірювань прискорення для оцінки навантаження на практиці не виявилось ефективним. Замість цього пропонується

розглянути залежність швидкості від часу, яка була отримана вище (1). Для кожного моменту часу обрахована відносна швидкість сенсорів за формулою:

$$\Delta V(t_i) = \left(\sqrt{V_x^2(t_i) + V_y^2(t_i) + V_z^2(t_i)} \right)_1 - \left(\sqrt{V_x^2(t_i) + V_y^2(t_i) + V_z^2(t_i)} \right)_2 \quad (4)$$

Результат наведений на рис. 2.

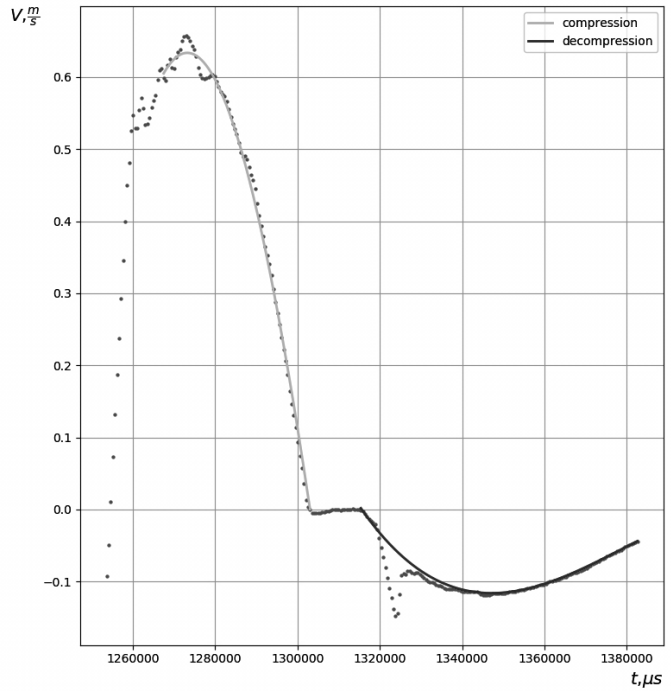


Рис. 2. Отриманий графік залежності відносної швидкості сенсорів від часу

На рисунку ділянка *compression* відповідає зтисканню амортизатору, ділянка *decompression* — розтисканню.

Кожна ділянка окремо апроксимована поліномами. Це дозволило позбутись випадкових коливань, зберігши загальний характер руху. Отримані рівняння кривих продиференційовано та отримано залежність сили від часу:

$$F(t) = m \frac{dV(t)}{dt} \quad (5)$$

де m — маса випробувального стенду.

Зіставивши залежності переміщення від часу та сили від часу, отримано шукану діаграму обтискання (рис 3). Тут враховано також, що реальне навантаження за нульового прискорення дорівнює вазі самого випробувального стенду. Отже, формула набуде вигляду:

$$F(t) = m \frac{dV(t)}{dt} + mg \quad (6)$$

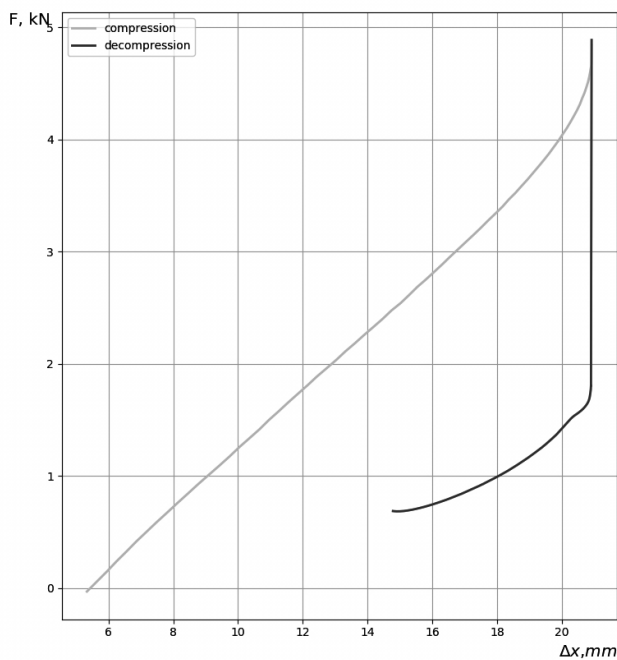


Рис. 3. Отримана діаграма обтискання амортизаційної системи

На отриманій діаграмі обтискання площа під кривою прямого ходу відображає кількість поглинутої енергії, а площа під кривою зворотнього ходу дорівнює відданий назад енергії. Видно, що повернута кінетична енергія значно менша за поглинуту, тобто амортизаційна система ефективно розсіює енергію. Отримані результати близькі до типових теоретичних діаграм (рис. 4), наведених у [6].

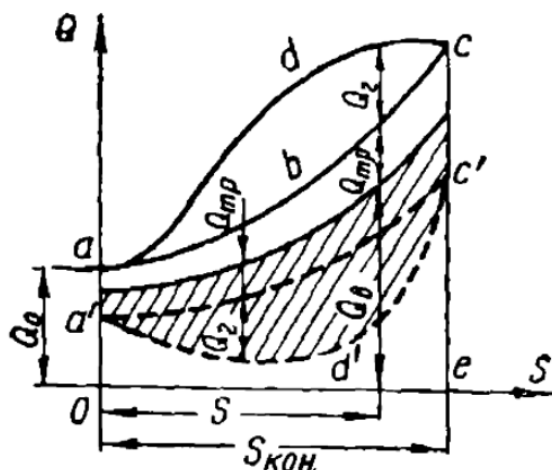


Рис. 4. Типова теоретична діаграма обтискання

На рис. 4 вісь Q – навантаження, вісь S – переміщення, крива abc – прямий хід, пунктирна крива $a'd'c'$ – зворотній хід.

Висновки

В результаті роботи розроблено електронний пристрій, що реалізує принцип інерційної навігації для отримання залежностей координат від часу двох обраних точок шасі. Виявлено, що точність використаних сенсорів достатня для визначень шуканих характеристик. За його допомогою проаналізовано роботу рідинно-газового амортизаційного шасі літака.

Також досліджено методи отримання діаграми обтискання та запропоновано новий. Отримано шукану діаграму обтискання амортизаційної системи.

У подальшому можна покращити точність та збільшити швидкість обробки результатів, застосувавши wavelet-аналіз вимірювань акселерометрів.

Перелік використаних джерел

Перелік використаних джерел

1. Александров В. Г., Мырцымов В. В., Ивлев С. П. Справочник авиационного инженера — 1973. — С. 99 с. — К. : Транспорт, 1973.
2. Xue Caijun, Xue Xiuli, Qi Wengang Research on the performance of buffer for landing gear based on the drop test — Journal of vibroengineering, 2012.
3. Rafał Jakubowski, Andrzej Tywoniuk An energy absorption dynamic test of landing gear for 1400 kg general aviation aircraft — Journal of KONES Powertrain and Transport, 2016.
4. Revised Landing Gear Shock Absorption Test Requirements Federal Aviation Administration (FAA). — 2001. —
5. ICM-20602 Datasheet InvenSense, Inc. — 2016. —
6. Астахов М. Ф. Караваев А. В. Макаров С. Я. Суздальцев Я. Я. Справочная книга по расчету самолета на прочность — Государственное издательство оборонной промышленности, 1954.